

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA



Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

Sandra Cristina Marquez

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

2011

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA



Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

Sandra Cristina Marquez

Dissertação orientada pelo Doutor Sancho de Vilaverde Correia

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

2011

*"Àquele que puder ser sábio,
não lhe perdoamos que não o seja."*

Josemaría Escrivá de Balanguer

Agradecimentos

Ao Doutor Sancho,
pela inestimável orientação prestada.

À minha Mãe e à minha Avó,
por possibilitarem tudo o que tenho e tudo o que sou.

Ao meu Irmão,
pelos beijinhos e abraços que me confortam sempre.

À minha Tia e ao meu Tio,
por estarem presentes em todos
os momentos da minha vida.

Aos meus Primos,
que me aturam e que estão ao
meu lado sempre que é preciso.

À minha Maninha,
que ri e chora sempre ao meu lado.

À Joana,
pela sua amizade e apoio a longo destes anos.

À Joana, à M^a Inês, à Filipa, e à M^a Joana,
por serem minhas verdadeiras amigas.

Ao António,
por tudo aquilo que me ensinou.

A todas as outras pessoas que fazem ou fizeram
parte da minha vida e me tornaram uma pessoa melhor.

Resumo

O Agregado de Trióxido Mineral (MTA) foi desenvolvido na Universidade de Loma Linda (USA), com o principal objectivo de selar as áreas de comunicação do interior do dente com o exterior, uma vez que nenhum material até então possuía as propriedades ideais para o fazer.

Foi descrito na literatura científica pela primeira vez por Lee et al., em 1993.

Apesar da vasta panóplia de materiais já conhecidos para selar o espaço endodôntico, o MTA tem sido largamente estudado por ter uma excelente biocompatibilidade quando em contacto íntimo com os tecidos periapicais e/ou periodontais.

É um material com propriedades físicas e químicas apreciáveis, boa resistência à compressão, pH básico, capacidade de estimulação de regeneração tecidular, entre outras.

Vários estudos foram realizados em animais e em humanos, tendo sido reveladas propriedades que tornam este material benéfico em várias situações clínicas na área da endodontia, entre as quais se destacam: apexificações imediatas, protecções pulpares directas, cirurgia endodôntica com obturação retrógrada, encerramento de perfurações radiculares e em reabsorções externas.

Palavras-chave: “Agregado de Trióxido Mineral”; “Endodontia”; ”Obturação retrógrada”; “Protecção pulpar”; “Reabsorções radiculares”;”Apexificação”

Abstract

Mineral trioxide aggregate (MTA) was developed at Loma Linda (USA), with the main goal of sealing the areas of communications between the endo and the periodontium, as no material previously owned the ideal properties to achieve it.

It was described in the scientific literature for the first time by Lee et al. in 1993.

Although there are many materials to seal the endodontic space, MTA has been widely studied because of its excellent biocompatibility when in close contact with the periodontal and / or periapical tissues

It is a material with remarkable physical and chemical properties, good compressive strength, high pH, ability to stimulate tissue regeneration, among others.

Several studies, conducted both in animals and humans, have shown properties that make MTA the material of choice for several endodontic applications such as immediate apexification, direct pulp capping, retrograde filling in endodontic surgery, repair of root perforations and external root resorption.

Key-words: “Mineral Trioxide Aggregate “;”Endodontics “;” Retrograde filling”; “Pulp protection”; “Root resorption”; Apexification”

Índice

Introdução	-1-
Propriedades do Agregado de trióxido mineral	-3-
Propriedades Químicas	-3-
pH	-5-
Propriedades Físicas	-7-
Solubilidade/Expansão por hidratação/Tempo de presa	-7-
Resistência à compressão	-9-
Radiopacidade	-9-
Propriedades Biológicas	-10-
Antimicrobianas	-10-
Adaptação Marginal e Selamento	-11-
Biocompatibilidade	-12-
Aplicações em Endodontia	-15-
Obturações retrógradas em cirurgia endodôntica	-15-
Reparação de perfurações	-17-
Apexificações imediatas	-19-
Protecções pulpares directas	-22-
Reabsorções radiculares externas	-25-
Conclusão	-28-
Bibliografia	-29-
Anexos	-38-

1.Introdução

Na década de 90 foi desenvolvido nos Estados Unidos um novo material, o agregado de trióxido mineral (MTA – *Mineral Trioxide Aggregate*). Este surgiu devido à ausência de um material que tivesse as características necessárias para fazer face às exigências da área endodôntica.

O material de reparação endodôntico ideal deveria aderir à estrutura dentária, ter capacidade seladora, ser de fácil manipulação, insolúvel nos fluidos tecidulares, dimensionalmente estável, não reabsorvível, radiopaco e ser biocompatível ou mesmo bioativo (Roberts et al., 2008; Tang et al., 2010).

Diversos materiais foram estudados com esta finalidade, podendo-se citar o amálgama de prata, derivados de óxido de zinco e eugenol (cimento Super EBA e cimento IRM), as resinas compostas fotopolimerizáveis, os cimentos de ionômero de vidro, os cimentos à base de hidróxido de cálcio [Ca(OH)₂] e a guta-percha. Porém, estes materiais apresentam algumas desvantagens como, tomando por exemplo o cimento IRM e o cimento Super EBA, a sensibilidade à humidade, a capacidade de causarem irritação dos tecidos, a solubilidade e a dificuldade de manipulação; já o amálgama de prata sofre infiltração inicial e corrosão secundária, é sensível à humidade e tem necessidade de um preparo retentivo e, por último, permite a contaminação pelo mercúrio (Torabinejad et al., 1993).

Nessa constante procura por um material ideal, surgiu em 1993 o MTA, apresentado por Lee, Monsef e Torabinejad, pesquisadores da Universidade de Loma Linda, Califórnia (USA). Os autores desenvolveram este novo material com o propósito de selar as comunicações entre o sistema de canais radiculares e o periodonto, comparando a sua capacidade de selamento com o amálgama de prata e o Material Restaurador Intermediário (IRM – *Intermediate Restorative Material*) em perfurações radiculares de molares extraídos, onde se demonstrou a capacidade superior do MTA em comparação com os outros materiais. Esta foi a primeira vez que o MTA foi descrito na literatura científica.

Após vários anos de estudos experimentais, a sua utilização foi autorizada pela *U.S. Food and Drug Administration* em 1998 (Schwartz et al., 1999; Schmitt et al.,

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

2001; Roberts et al., 2008) tendo sido lançado no mercado com o nome de ProRoot MTA® (Densply, Tulsa Dental, Tulsa, Oklahoma, USA) em 1999.

Originalmente o MTA foi indicado no contexto de cirurgias endodônticas, (como material retrobturador) e em casos de perfurações radiculares ou da furca. A partir de então, tem sido proposto em várias aplicações cirúrgicas e não cirúrgicas como, por exemplo, protecção pulpar directa em exposições pulpares, como barreira apical em casos de rizogénese incompleta ou como material obturador em casos de reabsorções radiculares – ampliando-se assim as possibilidades do seu uso clínico, que serão discutidas mais à frente.

O MTA é uma modificação do cimento de Portland, sendo a principal diferença com este a presença de óxido de bismuto que aumenta a radiopacidade do material (Torabinejad et al., 1995). Inicialmente surgiu no mercado o MTA cinzento (GMTA – *Grey MTA*), mas com o aumento dos padrões de estética ao longo dos anos, e porque o MTA cinzento causava alguma descoloração dentária, foi necessário desenvolver um material alternativo. Surgiu então o MTA branco (WMTA – *White MTA*) (Parirokh & Torabinejad, 2010).

Como características principais deste material saliente-se que é biocompatível, apresenta um pH alcalino, apresenta uma boa capacidade de isolamento, não é tóxico nem carcinogénico nem mutagénico. Este material também demonstrou ter propriedades antimicrobianas similares às do óxido de zinco eugenol (Schmitt et al., 2001; Farsi et al., 2006), sendo que estas propriedades poderão eventualmente ser responsáveis pela capacidade de diminuição da inflamação quando se encontra em contacto com os tecidos moles. Demonstrou também ter a capacidade de inibir a infiltração por bactérias, toxinas e leveduras. Está provado que o MTA tem a capacidade de induzir a formação de tecidos duros, como dentina, cemento e osso, em casos de protecção pulpar e obturação radicular (Darvell & Wu, 2011). Este cimento endurece por hidratação, sendo o seu tempo de presa de cerca de 3 a 4 horas tendo uma força compressiva após endurecimento de cerca de 70 MPa (Parirokh & Torabinejad, 2010).

2. Propriedades do Agregado de Trióxido Mineral

2.1 Propriedades químicas

O MTA é um material constituído por silicato tricálcio, tricálcio de alumínio, óxido de tricálcio, óxido de silicato (Lee et al., 1993), e óxido de bismuto (Schwartz et al., 1999).

Em adição aos trióxidos, haveria na sua composição (mantida secreta) outros óxidos minerais que seriam responsáveis pelas propriedades químicas e físicas desse agregado. Segundo alguns autores, o pó do MTA seria constituído por finas partículas hidrofílicas: com a presença de água, essas partículas formariam um gel coloidal que solidificaria em aproximadamente 3 a 4 horas (Schwartz et al., 1999; Roberts et al., 2008).

Actualmente, o MTA encontra-se à venda no mercado sob duas formas: o MTA cinzento (GMTA) e o MTA branco (WMTA). O último a ser comercializado foi o WMTA e surgiu com o objectivo de melhorar algumas propriedades do GMTA, nomeadamente para fazer face a exigências estéticas (isto porque o GMTA provocava alguma alteração de cor nos dentes tratados). Diversas investigações concluíram que a diferença entre o GMTA e o WMTA está na presença de menores quantidades de ferro, alumínio e magnésio no WMTA (Torabinejad et al., 1995).

No início de 2001, o fabricante do ProRootMTA® modificou algumas informações em relação à composição do material MTA cinzento (GMTA), acrescentando que este consistia numa mistura de cimento de Portland e óxido de bismuto (Camilleri et al., 2005; Roberts et al., 2008).

O seu maior componente, o cimento de Portland é uma mistura de óxido de cálcio (50 – 75%), dióxido de silício (15 – 25%) e óxido de alumínio (2 – 5%) (Roberts et al., 2008; Parirokh & Torabinejad, 2010; Darvell & Wu, 2011).

As diferenças primordiais entre o cimento de Portland e as duas formas de MTA, o MTA branco (WMTA) e o MTA cinzento (GMTA), são a ausência de potássio e a presença do óxido de bismuto, ou seja, o MTA é um cimento de Portland purificado (Parirokh & Torabinejad, 2010). O óxido de bismuto é praticamente insolúvel em água,

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

é quimicamente inerte e foi adicionado para tornar a mistura radiopaca com o objectivo de ser identificada radiograficamente (Fridland & Rosado, 2003; Camilleri et al., 2005).

As partículas de MTA são menores em tamanho e mais uniformes do que as partículas de cimento de Portland (Camilleri et al., 2005). Em vários artigos é referido o tamanho das partículas: Lee et al., (1993) referiram que o tamanho das partículas de GMTA varia entre 1 a 10 μm , enquanto Camilleri et al., (2009) referiram que o WMTA tem partículas inferiores a 1 μm podendo, no entanto, algumas alcançar até 30 μm . A análise qualitativa da superfície mostrou que o tamanho dos cristais de GMTA é cerca de 8 vezes superior ao tamanho dos cristais de WMTA (Parirokh & Torabinejad, 2010).

No MTA, a mistura do pó com o líquido deve ser feita na proporção de 3:1, (Torabinejad et al., 1993) o que origina uma mistura de consistência semelhante à do silicone putty, mas no entanto húmida. Se for utilizada água em quantidade excessiva ou insuficiente, a resistência do material fica reduzida. O tempo de mistura deverá ser inferior a 4 minutos de forma a que não haja desidratação. Deve usar-se água destilada, livre de impurezas, caso contrário poder-se-á alterar as suas propriedades químicas, físicas e/ou biológicas.

Em 1995, Torabinejad et al. estudaram as propriedades físicas e químicas do MTA. Observaram que todo o MTA era dividido em duas fases específicas, constituídas pelo óxido de cálcio e pelo fosfato de cálcio. Verificaram, ainda, que o óxido de cálcio aparece sob a forma de pequenos cristais e o fosfato de cálcio como uma estrutura amorfa. Uma vez que neste material estão presentes iões de cálcio e de fósforo, e estes são um dos principais componentes dos tecidos duros dentários, levanta-se a hipótese de este material poder ter uma boa biocompatibilidade quando em contacto com os mesmos, por facilitar a regeneração do ligamento periodontal e estimulando a sua neoformação.

A capacidade do MTA libertar iões de cálcio, proporcionando a deposição de cristais de fosfato de cálcio quando colocado em contacto com fluidos orais, tem sido referida ao longo dos anos por diversas investigações (Bozeman et al., 2006; Camilleri et al., 2011).

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

Em 2003, Fridland & Rosado, realizaram um estudo com o principal objectivo de determinar a solubilidade e porosidade do MTA quando misturado com diversas proporções de água e estabelecer a composição química dos sais dissolvidos a partir da mistura. O estudo demonstrou que o material endurecido, obtido pela mistura do MTA em pó com a água, forma uma matriz porosa, que mantém uma fracção solúvel, capaz de ser transferida para um ambiente aquoso. Este estudo concluiu ainda que o hidróxido de cálcio foi o principal composto libertado pelo MTA em água. Estes resultados podem ser pelo menos qualitativamente transferidos para uma situação clínica, onde o MTA se poderia tornar uma fonte de libertação do hidróxido de cálcio quando em contacto com um meio aquoso. No entanto, em qualquer situação clínica real, apenas parte do MTA estará em contacto com um meio aquoso, neste caso proveniente dos tecidos periapicais, o que poderá limitar a quantidade de hidróxido de cálcio disponível.

Bortoluzzi et al., em 2006, avaliaram a influência da adição de 10% de cloreto de cálcio, que está indicado como um acelerador de presa, no pH e na libertação de iões de cálcio no ProRoot MTA (WMTA) (Dentsply, Maillefer, OK), MTA Branco (MTAB) (Angelus, Londrina), e White Portland cement (WPC) (Irajazinho, Votorantim, SP, Brazil). A comparação entre os produtos com e sem a adição do cloreto de sódio veio a demonstrar que a presença dessa substância aumenta ligeiramente o pH, ainda que os resultados tenham sido muito similares quando analisados em outros intervalos de tempo. Os resultados revelaram ainda que produtos com a adição de cloreto de cálcio libertam mais cálcio quando comparados com o material em estado puro num período de 24 horas.

pH

Quando o MTA é misturado com água, inicialmente formam-se hidróxido de cálcio e silicato de cálcio hidratado, originando um gel pobremente cristalizado e poroso. A quantidade de silicato de cálcio diminui devido à formação de precipitado de cálcio. O precipitado de cálcio produz hidróxido de cálcio, sendo este o passo que provoca o aumento de pH do MTA, após a sua hidratação (Asgary et al., 2006).

O valor do pH inicial do MTA é de 10,2 e vai aumentando progressivamente até 12,5 nas 3 horas que se seguem após mistura dos componentes (Torabinejad et al., 1995; Roberts et al., 2008; Porter et al., 2010).

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

Em 2005, Chng et al., entre outras propriedades físico-químicas, avaliaram o pH do MTA cinzento, do MTA branco e de um outro material experimental à base de MTA, com uma consistência e manuseamento em tudo semelhante ao IRM. O pH foi determinado com um micro-eléctrodo de um medidor de pH que foi colocado no cimento durante o seu período de presa. As avaliações foram realizadas no início da experiência, aos 30min. e aos 60min. No início da experiência e aos 30min. não houve discrepâncias entre os 3 materiais, os valores foram estatisticamente semelhantes. Aos 60min., no entanto, o MTA branco mostrou valores de pH superiores, numa média de 13,0, enquanto os outros materiais alcançaram médias de 12,6 e 12,8.

Um ano depois, Islam et al., em 2006, avaliaram entre outras propriedades, o pH do MTA branco, do MTA cinzento e do cimento de Portland cinzento e branco. Utilizando a mesma metodologia do estudo de Chng et al., foram encontrados valores de pH superiores para ambos os cimentos Portland em comparação com os cimentos MTA, inclusivamente com índices mais elevados num período de tempo menor. As médias dos cimentos Portland alcançaram níveis próximos de 13,2 sendo seguidos pelo MTA branco. Também neste estudo os menores valores de pH foram atingidos pelo MTA cinzento.

Os valores elevados de pH foram mantidos durante a realização de uma investigação de longo curso; os seus autores, Fridland & Rosado atribuíram o valor elevado do pH à constante libertação de cálcio por parte do MTA e à formação de hidróxido de cálcio, o que explica algumas das suas propriedades antimicrobianas (Schwartz et al., 1999).

2.2 Propriedades físicas

Como já foi referido anteriormente, a hidratação do pó MTA resulta na formação de um gel coloidal que solidifica e origina uma estrutura rígida. As características dessa mistura podem ser influenciadas por inúmeros factores, entre os quais se destacam:

- ✓ Tamanho das partículas;
- ✓ Quantidade líquido/pó;
- ✓ Temperatura ambiente;
- ✓ Humidade ambiente;
- ✓ Quantidade de ar presente na mistura.

Graças a este conjunto de múltiplos factores difíceis de controlar, existe uma variedade de resultados em relação às propriedades físicas do MTA.

Solubilidade/Expansão por hidratação/Tempo de presa

O agregado trióxido mineral não apresenta sinais de solubilidade. No entanto esta pode aumentar na presença de maiores quantidades de água durante a mistura (Islam et al., 2006). O MTA, tal como o amálgama e o Super EBA não mostram quaisquer sinais de solubilidade em água após 7 dias de imersão, o que está de acordo com as especificações ISO e da ADA (Torabinejad et al., 1995).

Fridland & Rosado, em 2005, avaliaram a longo prazo, a quantidade de material solúvel libertada pelo MTA em determinadas medidas de água, para determinar se a diferença de solubilidade entre os espécimes varia na razão da relação água/pó. Demonstraram que o MTA foi capaz de libertar parcialmente a sua fracção solúvel para um ambiente aquoso depois de um longo período, numa taxa decrescente, e que os materiais são mais solúveis e porosos, quando introduzida maior quantidade de água na proporção de manipulação. De referir que o elevado pH (entre 11 e 12) foi mantido no ambiente aquoso ao longo de todo o estudo.

A libertação de hidróxido de cálcio pode ser vantajosa, como já foi referido anteriormente, e portanto poder-se-á pensar que uma relação água/pó elevada possa ser

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

benéfica. No entanto, a quantidade de água incorporada na mistura traduz-se pela sua perda de consistência na presença de líquidos em excesso. Esta limitação representa um problema no manuseamento do material. Por isso, 1:3 é o rácio água/pó ideal, o que, aliás, corresponde ao recomendado pelo fabricante. Este recomenda ainda que o MTA seja misturado com água estéril numa pasta grossa granulada (Schwartz et al., 1999). Quando usado em algumas aplicações, essa relação pode resultar numa mistura pastosa. No entanto, este inconveniente é facilmente ultrapassado, basta aguardar que o material adquira uma consistência adequada sob uma gaze molhada (Fridland & Rosado, 2003; Torabinejad & Chivian 1999).

Na literatura existem diversos artigos científicos publicados que fazem referência ao tempo de endurecimento deste material. Torabinejad et al., em 1995, referiram que o tempo de endurecimento do MTA cinzento seria de 2 horas e 45 minutos com um desvio padrão de 5 minutos. Chng et al., 2005, verificaram que o WMTA tem um tempo de endurecimento completo de 140min. Este tempo de endurecimento tão elevado tem sido referido por alguns autores como uma das principais desvantagens deste material (Parirokh & Torabinejad, 2010).

Na actualidade são realizadas várias investigações com o objectivo de, com a inclusão de aceleradores de presa, conseguir um tempo de endurecimento mais curto, mas mantendo as suas propriedades de biocompatibilidade.

A natureza hidrofílica das partículas do pó do MTA confere uma característica especial ao produto, podendo ser utilizado na presença de humidade, tal como acontece por exemplo, durante o procedimento clínico em casos de perfurações não sendo necessário um campo de trabalho seco. A humidade presente nos tecidos age como um activador da reacção química deste material. Muito provavelmente deve-se a essa sua natureza hidrofílica e ligeira expansão quando manipulado em ambiente húmido a sua resistência à dissolução pelos fluidos tecidulares mesmo quando imerso em água por 21 dias (Torabinejad et al., 1995; Storm et al., 2008).

Resistência à compressão

Apesar da resistência à compressão não ser um factor tão importante quando colocado em cavidades que não suportam forças oclusais, deve ser considerado em determinadas situações, como por exemplo, em perfurações de furca em molares, onde a força poderá ser significativa. Em relação à resistência à compressão, o MTA apresenta nas primeiras 24 horas valores significativamente menores que o IRM e o amálgama, mas aumenta consideravelmente nas semanas seguintes. Vinte e um dias após a sua manipulação o valor da força de compressão do MTA que era aproximadamente 40 MPa aumentou para 67 MPa (Torabinejad et al., 1995).

Em relação às forças compressivas do MTA cinzento e do MTA branco, num estudo de Islam et al., em 2006, os autores referem que o MTA cinzento apresenta maior força compressiva que o MTA branco ao fim de 3 e de 28 dias.

A resistência à compressão do MTA pode ser influenciada por diversos factores, tais como:

- ✓ O tipo de MTA;
- ✓ A proporção pó/liquido da mistura;
- ✓ A pressão de condensação realizada;
- ✓ O valor de pH;
- ✓ As condições de armazenamento do material.

Radiopacidade

Um material de restauração deverá ser mais radiopaco que as estruturas circundantes quando colocado *in situ*.

A radiopacidade do MTA deve-se à presença de óxido de bismuto na sua composição. Torabinejad et al., em 1995 compararam, entre outras propriedades físico-químicas, a radiopacidade do MTA com a do Super EBA, amálgama e IRM e concluíram que o MTA apresentou valores de radiopacidade mais elevados que os do Super EBA e o IRM e menos elevados quando comparado com o amálgama.

Chng et al., em 2005, compararam a radiopacidade do MTA cinzento, do MTA branco e do cimento de Portland. Os resultados demonstraram que a radiopacidade do cimento de Portland é menor do que a do MTA cinza e branco

Ao comparar a radiopacidade do MTA branco com a do MTA cinzento, observou-se que o MTA branco é mais radiopaco. Embora ambos os materiais tenham quantidades semelhantes de óxido de bismuto, a presença de outras substâncias no MTA branco poderá ser a causa desta diferença de radiopacidade entre ambos (Islam et al., 2006).

Uma vez que o MTA apresenta maior radiopacidade do que a guta-percha e do que a dentina, o material é facilmente identificado nas radiografias.

2.2 Propriedades biológicas

Antimicrobianas

Torabinejad et al., em 1995, fizeram um estudo em que utilizaram MTA, amálgama, óxido de zinco eugenol e Super EBA como barreira a nove tipos de bactérias anaeróbias facultativas e cinco tipos de bactérias anaeróbias estritas. O MTA teve efeito antibacteriano em cinco das nove bactérias anaeróbias facultativas mais frequentes em canais radiculares infectados, mas não teve nenhum efeito nas bactérias anaeróbias estritas. Os outros materiais obtiveram resultados semelhantes. Os investigadores concluíram que nenhum dos materiais estudados tinha todas as propriedades desejadas para funcionar como material obturador ideal.

Uma vez que a microflora bacteriana dos canais radiculares é praticamente anaeróbia estrita, apenas com algumas bactérias anaeróbias facultativas, o MTA não deverá ser usado como único agente antibacteriano directo em prática endodôntica.

A variedade de resultados, muitos deles até contraditórios sobre a actividade antimicrobiana do MTA, pode ser justificada pela variabilidade de espécies que foram alvo de estudos assim como pelas diferentes formas de preparar o material a diminuição da quantidade de MTA pode afectar negativamente as suas propriedades antimicrobianas (Parirokh & Torabinejad, 2010).

Adaptação marginal e selamento

A adaptação marginal e a capacidade de selamento são das propriedades mais importantes de um material restaurador e que pode levar ao sucesso ou insucesso do procedimento endodôntico realizado.

O MTA tem a capacidade de expandir durante a reação de endurecimento por hidratação, sendo esta uma das razões para a sua excelente capacidade de selamento (Srinivasan et al., 2009).

Em 1993, num estudo realizado por Torabinejad et al., um corante foi utilizado para avaliar a capacidade de selamento do MTA, do amálgama e do Super-EBA: 30 dentes foram instrumentados e obturados com os vários materiais e foram posteriormente colocados durante 24 horas numa solução aquosa do corante rodamina-B. Após observação ao microscópio, estatisticamente a penetração do corante foi significativamente menor nos dentes obturados com MTA quando comparada à observada nos dentes obturados com os restantes materiais.

Também em 1993, Lee et al., num estudo de infiltração por corante investigaram a capacidade seladora do MTA em perfurações laterais e concluíram que o MTA permitia uma infiltração significativamente inferior ao IRM e ao amálgama.

Muitos têm sido os estudos realizados ao longo dos anos, com vários tipos de corantes para avaliar a capacidade de selamento do MTA. Diferentes factores podem influenciar a capacidade de selamento do MTA durante esses estudos tais como: a espessura da parede dentinária, o tipo e o pH do corante, o pré-tratamento com agentes quelantes, o ambiente de armazenamento do dente antes da experiência e factores inerentes a preparação do MTA. No entanto, e de uma forma geral, segundo a literatura disponível o MTA parece ser um dos materiais mais resistentes à infiltração por corante (Torabinejad et al., 2010).

O MTA pode ser o material ideal para usar perto do osso porque é o único material que consistentemente permite o crescimento/desenvolvimento do cimento e a formação de osso, podendo facilitar a regeneração do ligamento periodontal. (Scwartz et al., 1999). De facto não é apenas um material inerte e pode mesmo promover activamente a formação de tecidos duros. A capacidade que o MTA possui de induzir a

produção de cimento dá-lhe uma característica singular quando comparado com os outros materiais para obturação radicular (Tsai et al., 2006).

Segundo Holland et al., em 2002, após o tempo de presa, o MTA passa a conter óxido de cálcio, que reagindo com os fluidos tecidulares origina o hidróxido de cálcio. Assim, o seu possível mecanismo de acção pode ser semelhante ao produzido pelo hidróxido de cálcio, estimulando a deposição de tecido duro.

De acordo com Schwartz et al., em 1999, a deposição de cimento sobre o MTA e o estabelecimento de um ligamento periodontal são preferíveis à formação de tecido fibroso, tal como acontece com outros materiais. O cimento pode formar um selamento biológico que é semelhante ao de uma superfície de raiz normal.

Os resultados das investigações de Shipper et al., demonstraram melhor adaptação marginal à raiz e parede da cavidade com MTA do que com amálgama (Shipper et al., 2000).

Sarkar et al., em 2005, concluíram que o MTA pode aderir quimicamente à dentina através de uma reacção de difusão entre a camada de apatite do MTA e a dentina.

2.3 Biocompatibilidade

Os materiais utilizados na endodontia são frequentemente colocadas em íntimo contacto com o periodonto. Qualquer material que tenha como objectivo a sua utilização em humanos ou em animais deve ser biocompatível e não deve provocar efeitos tóxicos ou lesões nos tecidos biológicos e nas suas funções (Mitchell et al., 1999).

Existem vários testes *in vitro* e *in vivo* para avaliar a biocompatibilidade dos materiais dentários. Estes incluem testar numa cultura de células o perfil geral de toxicidade dos materiais, testes de implantação e ensaios clínicos em animais de laboratório de acordo com protocolos clínicos previamente aceites.

Uma série de estudos de biocompatibilidade e mutagenicidade mostraram que o MTA é um material biocompatível e que é um dos materiais dentários menos tóxicos (Kettering et al., 1995; Torabinejad et al., 1995; Koh et al., 1998; Keiser et al., 2000; Guven et al., 2007; Ko et al., 2010).

O teste de mutagenicidade Ames foi utilizado para avaliar a mutagenicidade do MTA num estudo de Kettering et al., em 1995. Este teste utiliza linhagens de

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

Salmonella typhimurium LT-2, que são sensíveis a diferentes classes de agentes mutagénicos. Os resultados deste estudo determinaram que o MTA não é mutagénico.

Torabinejad et al., em 1995, realizaram um estudo onde através da utilização de métodos de libertação de gelose e de rádio-crómio investigaram a citotoxicidade do MTA: este foi considerado o menos citotóxico quando comparado com o IRM e o Super EBA.

Keiser et al., em 2000, compararam a citotoxicidade do MTA, do amálgama de prata e do Super EBA em células do ligamento periodontal, tendo os resultados indicado que o MTA recém misturado tem menor citotoxicidade que o amálgama de prata e que o Super EBA.

Torabinejad et al., em 1994, realizaram a obturação radicular em incisivos maxilares com MTA em macacos. Em 1995 realizaram a obturação dos 3º e 4º pré-molares mandibulares, também com MTA, em cães beagle. Em ambos os estudos *in vivo* se verificou uma resposta tecidual periapical favorável.

As investigações de Koh et al., realizadas em 1997, estudaram a resposta biológica desencadeada pelo MTA em osteoblastos humanos *in vivo*. O estudo examinou uma linhagem padronizada de células semelhantes a osteoblastos para determinar mudanças na libertação de citocinas e nos níveis de osteocalcina (proteínas não colagénicas características da função osteoblástica) e de fosfatase alcalina. À variação destes produtos associa-se geralmente uma indicação da produção da matriz. Células MG-63 cultivadas foram tripsinizadas e semeadas em pratos que continham quantidades padrão de MTA e polimetilmetacrilato (PMA). Neste estudo, todos os marcadores da função dos osteoblastos avaliados mostraram um aumento na presença de MTA. A análise do MTA revela que este se divide em óxido de cálcio e fosfato de cálcio. Os estudos em microscopia electrónica de varrimento revelam que o fosfato de cálcio amorfo apresentou ingresso máximo e crescimento das células. Concluíram então que o MTA oferece um substrato biologicamente activo para as células ósseas e estimula a produção de interleucina.

Para além das já bem documentadas propriedades de biocompatibilidade do MTA, a produção de proteína morfogenética óssea 2 (BMP-2) e de factor de crescimento beta 1 (TGF- β 1) podem ser duas importantes contribuições para a resposta biológica estimulada pelo MTA em tecidos periapicais humanos (Güven et al., 2007).

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

Também tem sido demonstrado que a estimulação da produção de interleucina pelo MTA pode permitir o desenvolvimento do cimento e facilitar a regeneração do ligamento periodontal e formação de osso (Mitchel et al., 1999).

Holland et al., em 2001, avaliaram a resposta do tecido subcutâneo de ratos após terem sido implantados túbulos dentinários preenchidos com MTA, cimento de Portland e hidróxido de cálcio. Os três materiais induziram respostas semelhantes, com deposição de granulações von Kossa positivas, birrefringentes à luz polarizada, nas proximidades dos túbulos. Junto às granulações observou-se um tecido irregular na forma de uma ponte. Segundo os autores, esses achados sugerem que os mecanismos de acção dos três materiais são semelhantes. Os autores levantam ainda a hipótese segundo a qual o óxido de cálcio que compõem o MTA reagiria com os fluidos tecidulares originando hidróxido de cálcio que por sua vez se iria dissociar em iões hidroxilos e iões cálcio. Os iões hidroxilos seriam responsáveis pela alcalinização do meio e consequentemente pela activação da fosfatase alcalina. Por outro lado os iões cálcio reagiriam com os iões carbonato presentes no tecido periapical originando a precipitação de granulações de calcite que serviriam como ponto inicial para o processo de deposição de tecido mineralizado.

3. Aplicações em endodontia

3.1 Obturações retrógradas em cirurgia endodôntica

O tratamento cirúrgico pode ser necessário como resultado do insucesso do tratamento endodôntico convencional.

A cirurgia endodôntica consiste na excisão da porção apical de uma raiz e tecidos moles adjacentes, durante uma cirurgia perirradicular (Ferreira et al., 2007), seguido do preparo de uma cavidade na porção final do remanescente radicular e a obturação deste espaço com um material adequado – obturação retrógrada, com o objectivo de selar herméticamente a região apical, dando origem ao processo de reparação (Torabinejad et al., 1993). Cohen & Burns descreveram essa cavidade como ideal quando existe uma cavidade classe I com pelo menos 3mm de profundidade e paredes paralelas (Cohen & Burns, 2002).

As principais indicações para a cirurgia com obturação retrógrada são: (Peterson, 1998)

- ✓ Patologias perirradiculares persistentes após tratamento ou retratamento endodôntico;
- ✓ Obstruções intracanales que impeçam o retratamento endodôntico;
- ✓ Fracturas transversais do terço apical;
- ✓ Reabsorções patológicas e calcificações radiculares;
- ✓ Impossibilidade de tratamento endodôntico adequado devido a grandes dilacerações radiculares;
- ✓ Desvios e perfurações;
- ✓ Persistência de sintomatologia dolorosa;
- ✓ Presença de exsudado persistente.

São contra-indicações ao procedimento cirúrgico: (Peterson, 1998)

- ✓ Não identificação das causas de insucesso do tratamento endodôntico;
- ✓ A possibilidade de realizar tratamento/retratamento endodôntico;
- ✓ Risco de dano a estruturas anatómicas;
- ✓ Suporte ósseo insuficiente;

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

- ✓ Acesso cirúrgico inadequado;
- ✓ Dentes com raízes muito curtas ou que já sofreram apicectomia;
- ✓ Complicações sistêmicas.

Os materiais utilizados para promover a selagem apical da raiz constituem um ponto fundamental no sucesso desta técnica; estes devem aderir e adaptar-se às paredes de dentina na zona apical da raiz, impedir a penetração de microorganismos e os seus produtos, devem ser biocompatíveis e dimensionalmente estáveis. Para além das características acima mencionadas devem ainda ser insolúveis nos fluidos tecidulares e não susceptíveis à presença de humidade (Torabinejad et al., 1993; Koçak et al., 2010).

Diversos materiais são mencionados na literatura científica ao longo dos anos como possíveis materiais retrobturadores, entre eles destacam-se: o amálgama, cimentos à base de óxido de zinco eugenol, como o ácido etoxi-benzóico (Super EBA) e o IRM, Ionómeros de Vidro, Resinas Compostas e o MTA (Torabinejad & Watson, 1993; Torabinejad et al., 1994; Torabinejad & Chivian, 1999).

O amálgama foi usado como material retrobturador durante muitos anos. No entanto as suas desvantagens incluem: infiltração inicial, corrosão secundária, contaminação por mercúrio e estanho, sensibilidade à humidade, necessidade de uma preparação da cavidade mais invasiva, coloração cinzenta dos tecidos duros e moles circundantes e dispersão de partículas de amálgama (Torabinejad & Watson, 1993; Torabinejad et al., 1994).

Segundo Torabinejad & Chivian, em 1999, as principais vantagens observadas para o MTA quando comparado ao amálgama são o menor grau de resposta inflamatória, a formação de cimento sobre o MTA e a regeneração dos tecidos perirradiculares com conformação semelhante à normal.

Os cimentos à base de óxido de zinco eugenol apresentam como principais desvantagens à sua utilização como materiais retrobturadores, a potencial irritação dos tecidos vitais, a elevada solubilidade e a sensibilidade à humidade pois esta actua como um acelerador de presa e diminui drasticamente o tempo de trabalho aumentando a dificuldade de manuseamento do material (o que se poderá tornar um problema uma vez que o material atinge a sua fase final antes de se adaptar correctamente às paredes de dentina) (Torabinejad et al., 1994).

Em 1993, ao comparar a capacidade de selamento do MTA, amálgama e Super EBA através da utilização de corantes, comprovou-se que o MTA apresenta menor

quantidade de infiltração em relação aos restantes materiais. No mesmo trabalho, apontaram como vantagens a facilidade de inserção, manipulação, remoção de excessos e ainda comportamento favorável quando em presença de humidade. O longo tempo de presa do material (3 a 4 horas) foi apontado como a principal desvantagem na sua utilização (Torabinejad et al., 1993).

Em 1994, foi avaliada a capacidade de selamento através da infiltração por corante, do Super EBA, IRM, amálgama e MTA, na presença e ausência de sangue. O IRM mostrou os mesmos resultados de infiltração (na presença e ausência de sangue), e dos quatro materiais foi o que obteve valores mais elevados de selamento. O Super EBA apresentou valores mais elevados de infiltração apical na presença de sangue, quase estatisticamente semelhantes ao IRM. O amálgama aumentou a sua capacidade de selagem na presença de sangue. A quantidade de infiltração do MTA foi significativamente menor que a do amálgama, IRM e Super EBA, e a presença ou ausência de sangue não parece afectar a sua capacidade de selamento (Torabinejad et al., 1994).

Embora este estudo tenha demonstrado que a presença de sangue não tem efeito directo na capacidade de selamento do MTA e do IRM, a relevância dos resultados destes estudos de infiltração por corante para os ensaios clínicos são discutíveis e não se devem retirar conclusões directas, uma vez que os estudos com corantes têm variáveis intrínsecas (como a dimensão molecular, o pH da substância marcadora ou até o tempo de imersão na solução escolhida) que podem interferir nos resultados obtidos.

No entanto, quando um material retrobturador não permite a infiltração de pequenas moléculas como as do corante, tem o potencial de prevenir a infiltração por bactérias pois estas são de maiores dimensões do que as moléculas do corante.

3.2 Reparação de perfurações

As perfurações radiculares são um incidente indesejável que pode ocorrer em qualquer fase do tratamento endodôntico. Embora os processos de cárie ou de reabsorção interna possam causar perfurações, a maior parte é causada iatrogenicamente.

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

Consideram-se factores importantes na determinação do sucesso de um processo de reparação de perfuração os seguintes factores:

- ✓ Local da perfuração;
- ✓ Intervalo de tempo entre a ocorrência da perfuração e a reparação;
- ✓ Capacidade do material para selar o local da perfuração;
- ✓ Biocompatibilidade do material de reparação.

Uma perfuração no terço cervical da raiz ou no pavimento da câmara pulpar tem pior prognóstico do que uma perfuração no terço apical ou terço médio da raiz (Nicholls, 1962).

As perfurações radiculares de furca em dentes multirradiculares são uma complicação que pode ocorrer durante a procura da entrada dos canais no pavimento da câmara pulpar ou durante a preparação dos mesmos. A sequência de eventos que ocorre após uma perfuração de furca é a seguinte: a perfuração leva à passagem de micróbios para a região óssea da furca o que dá origem uma situação de inflamação crónica com formação de tecido granulomatoso; começa então o processo de reabsorção óssea, há destruição das fibras periodontais na região e ocorre a migração do epitélio. Tudo isto leva à perda de inserção e, finalmente ao desenvolvimento de uma bolsa periodontal (Arens et al., 1996; Main et al., 2004).

Como seria de esperar, vários materiais ao longo dos anos têm sido propostos para o encerramento de perfurações, tais como: o amálgama, o Cavit, Super EBA, o ionómero de vidro, entre outros.

O amálgama foi o material mais usado na reparação de perfurações no passado. No entanto, os estudos têm demonstrado que tem uma capacidade de selamento deficiente, o que resulta em inflamação e regeneração inadequada dos tecidos perirradiculares.

Nakata et al., num estudo em 1998, compararam a capacidade seladora do MTA e do amálgama em perfurações de furca de dentes humanos extraídos utilizando um modelo de infiltração de bactérias anaeróbias. Os resultados mostraram que o MTA permite uma infiltração significativamente menor de *Fusobacterium nucleatum* após a reparação de furca em comparação com o amálgama (Nakata et al., 1998).

Historicamente, os materiais utilizados para reparar perfurações radiculares estão associados à formação de uma cápsula de tecido conjuntivo fibroso em contacto

com o osso adjacente na melhor das hipóteses. Na realidade, a formação de um defeito periodontal tem sido o achado mais comum à maioria dos materiais anteriormente utilizados (Main et al., 2004).

Arens et al., em 1996, publicaram um artigo onde são descritos dois casos clínicos nos quais o MTA foi utilizado como material de reparação em perfurações de furca. No primeiro caso, foi identificada radiograficamente uma perfuração na zona da furca (Anexo 1 - fig.1). Após tratamento da perfuração com MTA foi feita nova avaliação radiográfica (Anexo 1 - fig.2). Seis meses após o tratamento verificou-se que existia regeneração óssea (Anexo 1- fig.3). A continuação da regeneração óssea foi observada radiograficamente aos 12 meses (Anexo 1 - fig.4).

O segundo caso obteve resultados semelhantes, com evidência radiográfica da resolução de uma lesão na região de furca aos 9 e 12 meses.

Também Schwartz et al., em 1999, publicaram um artigo com um caso clínico semelhante, onde foi usado MTA para reparar perfurações: seis meses após o procedimento foi encontrada evidência radiográfica da resolução de uma lesão de furca e ausência de sintomas clínicos.

Uma das principais consequências após a reparação de perfurações radiculares tem sido a reação inflamatória nos tecidos circundantes. O MTA não só demonstrou ser biocompatível com os tecidos circundantes, mas também tem demonstrado a capacidade de permitir a regeneração desses tecidos duros. A sua capacidade para promover a regeneração de cimento, facilitando assim a regeneração periodontal é a característica que diferencia o MTA dos outros materiais (Main et al., 2004).

Num estudo feito com osteoblastos humanos, Koh et al., em 1997, constatou que o MTA estimulou um aumento de citocinas, como a interleucina-1 α , interleucina-1 β e interleucina-6, que estão envolvidos no processo de remodelação óssea.

3.3 Apexificações imediatas

O trauma em dentes jovens permanentes é muito frequente, sendo que a maior parte ocorre antes da formação da raiz estar completa e pode dar origem a inflamação pulpar ou necrose (Andreasen & Ravn, 1977). Estas complicações podem impedir a completa formação da raiz, o que resulta num ápex aberto (Bogen & Kuttler, 2009).

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

Uma vez que as técnicas de obturação canalar mais comumente utilizadas necessitam da existência de uma constrição apical para que não exista extravasamento do material obturador para os tecidos periapicais, torna-se necessário criar um método de indução de uma barreira calcificada numa raiz com foramen apical aberto – apexificação – ou a indução da continuação do desenvolvimento de uma raiz com formação incompleta, em dentes com polpa necrótica – Apexogénese (Gingeira et al., 2007).

Os objectivos deste procedimento são a limitação da infecção bacteriana e a criação de um ambiente que promova a formação de tecido mineralizado, constituído por dentina, cimento, osso e osteodentina (Rafter, 2005).

Uma apexificação bem sucedida vai depender da formação de tecido duro pelas células que migram do tecido perirradicular em direcção ao ápex (Erdem et al., 2008).

Neste sentido podemos concluir que a bainha epitelial de Hertwig é um tecido muito importante no desenvolvimento de uma barreira apical. Esta bainha pode ainda permanecer vital após total necrose pulpar, pode promover alterações no tecido perirradicular e iniciar o desenvolvimento da raiz (Erdem et al., 2008).

A técnica de apexificação tradicional consiste na utilização de hidróxido de cálcio para promover a formação dessa barreira de tecido calcificado no ápex da raiz.

Ainda que esta seja uma técnica bastante previsível, são necessárias inúmeras visitas ao consultório médico-dentário por um longo período de tempo (tratamento que pode variar entre 3 e 21 meses) e vai aumentar a susceptibilidade a fracturas cervicais durante esse período de tempo (Andreasen et al., 2002).

Apesar destes factos, a apexificação com hidróxido de cálcio é a técnica mais utilizada no tratamento de dentes imaturos com polpas necrosadas e ápices abertos (Cehreli et al., 2011).

A utilização de barreiras apicais artificiais com diversos materiais tais como: fosfato tricálcico, hidróxido de bário, MTA bem como a deliberada sobre-instrumentação do canal para a área periapical de forma a produzir um coágulo que induziria o encerramento apical têm sido descritas na literatura como uma alternativa à utilização do hidróxido de cálcio. No entanto entre esses materiais, o que mais se tem destacado é o MTA devido à sua biocompatibilidade e capacidade de selagem, ao facto de não ser reabsorvível, de não enfraquecer a dentina presente no canal e de endurecer em ambientes húmidos (Chhaba et al., 2010).

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

Na maior parte dos casos, o procedimento fica completo no máximo em duas consultas. A camada obturadora de MTA na zona apical deverá ter, pelo menos 3 a 4 mm de espessura, de forma a não ultrapassar o ápice canalar quando empurrado pelo material obturador, neste caso guta-percha. A obturação com guta-percha deverá ser feita apenas 3 horas após a colocação de MTA (Torabinejad & Chivian, 1999).

Em 2007, Gaitonde & Bishop, publicaram um artigo onde relatam um caso clínico de um rapaz de 10 anos que apresentava dor à percussão no incisivo central superior esquerdo. O dente em questão sofrera um trauma dois anos antes e posteriormente perdeu a vitalidade. Já tinha sido tentada a apexificação por um outro médico dentista com hidróxido de cálcio mas não foi conseguido o encerramento do ápex da raiz (Anexo 2 – fig.1). Foi então realizado o desbridamento do canal e colocado hidróxido de cálcio por um período de uma semana. Na semana seguinte colocou-se o MTA na região apical com uma espessura de aproximadamente 5 mm, obturou-se o canal com gutta-percha, fez-se uma protecção com óxido de zinco eugenol e restaurou-se a cavidade com resina composta. Um ano após o tratamento comprovou-se o encerramento do ápex radicular (Anexo 2 – fig.2).

No caso clínico descrito por Cehreli, 6 meses após a utilização de MTA como barreira apical artificial em dois dentes incisivos centrais superiores foi encontrada cicatrização óssea avançada das lesões periapicais. Para além disso verificou-se ainda que o processo de cicatrização da lesão do incisivo superior direito não foi afectado pela extrusão do MTA para fora da raiz, o que demonstra que o contacto dos tecidos periapicais com o MTA não origina uma resposta agressiva pelo organismo e não é um obstáculo ao processo de cicatrização (Cehreli et al., 2011).

O MTA deve ser considerado com uma boa alternativa à utilização do hidróxido de cálcio em casos de apexificação em dentes com necrose pulpar ou com formação incompleta dos ápices radiculares. Entre as suas vantagens destacam-se a comodidade para o paciente e a velocidade de formação de tecidos duros.

3.4 Protecções pulparem directas

Uma polpa vital é capaz de iniciar vários mecanismos de defesa de modo a proteger o organismo de invasão bacteriana. Assim, torna-se benéfico preservar a vitalidade da polpa após exposição pulpar, em vez de substituí-la na sua totalidade com material obturador (Abarajithan et al., 2010).

A pulpotomia consiste na remoção cirúrgica, total ou parcial, da porção coronária de uma polpa vital, como meio de preservação da vitalidade da porção radicular remanescente. Trata-se de um procedimento que vai permitir ou favorecer o desenvolvimento fisiológico e a completa formação da raiz – apexogénese (Ginjeira et al., 2008). Após a formação completa da raiz, procede-se então ao tratamento endodóntico propriamente dito.

Várias investigações demonstraram que a polpa dentária exposta tem a capacidade de curar quando a microinfiltração e a contaminação bacteriana são prevenidas. Assim sendo, um material para ser utilizado como protecção pulpar deverá ser biocompatível, providenciar um selamento biológico e prevenir a infiltração bacteriana (Ford et al., 1996).

Para que exista um prognóstico mais previsível, antes do tratamento é necessário um diagnóstico de pulpíte reversível. No entanto um diagnóstico pulpar definitivo nestas situações por norma é muito complicado de ser estabelecido (Bogen et al., 2008).

Estudos recentes (Abarajithan et al., 2010; Chhabra et al., 2010) mostram que, enquanto um bom isolamento que mantenha a polpa afastada das bactérias orais for assegurado, o tratamento endodóntico pode não ser necessário após a realização de uma exposição pulpar. Esse isolamento é conseguido com uma protecção pulpar directa que consiste no recobrimento da zona de exposição pulpar com um material que favoreça a formação de um tecido calcificado (ponte dentinária) e consequente isolamento da polpa em relação ao exterior.

Apesar da longa história de utilização do hidróxido de cálcio como material de protecção pulpar, várias desvantagens têm sido enumeradas com o seu uso, tais como: a obliteração/obstrução da câmara pulpar, elevada solubilidade nos tecidos orais e falta de adesão à dentina. Assim, um novo material com melhores propriedades seria necessário para o sucesso do procedimento (Abarajithan et al., 2010).

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

O MTA, devido às suas propriedades físicas e biocompatibilidade, elevado pH alcalino, selagem e adaptação marginal foi descrito como uma alternativa ao hidróxido de cálcio.

Ford et al., em 1996, realizaram uma experiência *in vivo* em 12 incisivos mandibulares de macaco. Após realizar uma exposição pulpar propositada, realizaram a protecção pulpar com hidróxido de cálcio no grupo 1 e com MTA no grupo 2. Foi observada a formação de ponte dentinária em todos os dentes em que foi realizada protecção pulpar com MTA, tendo ocorrido inflamação pulpar num único dente. No grupo 1, em que o material de protecção pulpar foi o hidróxido de cálcio, observaram a formação de ponte dentinária em apenas 2 dentes e todos tinham inflamação pulpar.

Estudos em animais, (Pitt Ford et al., 1996; Abedi et al., 1996; Faraco & Holland, 2001; Aeinehchi et al., 2003) demonstraram que o tecido calcificado formado por baixo do hidróxido de cálcio apresentava algumas imperfeições e canalículos que poderiam permitir infiltração bacteriana: já no caso do MTA o tecido calcificado apresentava-se sem imperfeições e os canalículos estavam ausentes.

Um estudo em humanos de Aeinehchi et al., em 2003, reportou que após 2 meses com a utilização de MTA como material de protecção pulpar foram encontradas pontes de dentina de espessura máxima de 0,28mm com inflamação leve crónica subjacente. (Anexo 3 – fig.1), havia um domínio de linfócitos na zona inflamada. Aos 3 meses, pontes de dentina com uma espessura máxima de 0,25 mm e odontoblastos foram registados em todas as amostras (Anexo 3 – fig.2) inflamação crónica, leve hiperémia e necrose foi encontrada em uma amostra. Aos 4 meses, as pontes dentinárias tinham no máximo 0,37mm de espessura. Hiperémia, inflamação, necrose, calcificações bem como camada odontoblástica não foram observadas. Após 6 meses, existe formação de uma ponte dentinária de aproximadamente 0,43mm de espessura e uma camada regular de odontoblastos. Necrose, inflamação ou calcificações não foram registados (Anexo 3 - tabela 1).

Os resultados com a utilização de hidróxido de cálcio foram os seguintes: após dois meses, não existia formação de pontes dentinárias, existia inflamação crónica e hiperémia e um domínio de células polimorfonucleares. Aos 3 meses, existia inflamação crónica, leve hiperémia e necrose. Os linfócitos eram as células dominantes (Anexo 3 – fig. 3 e 4). Uma ponte irregular de espessura máxima de 0,02mm foi relatada. Aos 4 meses, uma ponte dentinária de espessura máxima de 0,04mm foi encontrada, com leve

inflamação crónica e hiperémia por baixo. Sem calcificações ou camada odontoblástica encontrada. Finalmente, aos 6 meses, calcificações e necrose foram vistos debaixo de uma ponte de 0,15mm de espessura máxima. Nenhuma camada odontoblástica foi encontrada, linfócitos predominavam, existia inflamação crónica leve e ligeira hiperémia (Anexo 3 - tabela 2).

Nair et al., em 2008, realizaram uma experiência semelhante à de Aeinehchi, mas com uma amostra maior e com alteração dos tempos de observação. Concluiu-se, neste estudo, que o MTA é clinicamente mais fácil de utilizar, proporciona menos inflamação e a formação de tecidos duros é mais previsível por comparação ao hidróxido de cálcio. Concluíram ainda que o MTA deve ser o material de eleição para protecções pulpares directas em detrimento dos cimentos de hidróxido de cálcio.

Bogen et al., em 2008, realizaram um estudo que consistia na colocação de protecções pulpares directas sobre exposições pulpares com origem em processos cariogénicos em quarenta pacientes. A protecção pulpar utilizada foi o MTA. Todos os dentes eram definitivos e o diagnóstico pulpar era de pulpite reversível no pior das situações. Estes dentes foram acompanhados por um período de 9 anos e obtiveram resultados com 97% de sucesso. É importante referir ainda que todos os dentes em pacientes jovens têm inicialmente os ápices abertos, mas que, por volta dos 15 anos, deverão ter todos terminado a sua formação radicular.

Abarajithan et al., em 2010, publicaram um artigo onde documentam dois casos clínicos de fracturas em dentes anteriores com exposição pulpar. O MTA utilizado no tratamento foi o WMTA por motivos estéticos. No casos clínicos referidos por Abarajithan et al., o tratamento com MTA ocorreu dentro das 48 horas após a fractura e os pacientes tinham respectivamente 15 e 25 anos de idade. Após o tratamento, houve follow-ups de 1, 7, 15 e 30 dias, de 3 meses, 6 meses e após 1 ano, 1,5 anos e 2 anos, onde ambos os dentes responderam positivamente a testes de sensibilidade. As radiografias mostraram a lâmina dura intacta e sem alterações periapicais. Concluiu-se então que, dentes traumatizados com exposição pulpar, se tratados com pulpotomia parcial entre as 24-48 horas após o trauma com MTA, podem ser considerados tratamentos permanentes sem a necessidade posterior de tratamento endodôntico, desde que seja obtido uma boa selagem que impeça a proliferação bacteriana. Deve ter-se em conta a idade do paciente, uma vez que pacientes mais velhos têm polpas com menor aporte sanguíneo e são menos celulares, logo potencialmente com menor capacidade regenerativa.

Verificando todos os resultados acima mencionados, considera-se que o MTA é superior ao hidróxido de cálcio como protecção pulpar de dentes onde a exposição foi mecânica. Ressalva-se, no entanto, a importância de novas pesquisas com amostras maiores.

3.5 Reabsorções radiculares externas

A reabsorção radicular pode levar, em última análise à perda do dente. A combinação da interrupção da camada de cimento exterior na superfície da raiz e uma infecção intracanal geralmente como seqüela de algum trauma leva a este evento (Andreasen, 1981).

A reabsorção da raiz pode ser externa ou interna, dependendo da sua localização e a reabsorção externa da raiz pode ainda ser dividida em: (Aggarwal & Singla, 2010)

- ✓ Reabsorção superficial: a superfície radicular mostra uma lacuna de reabsorção reparada com novo cimento, é autolimitante e demonstra uma reparação espontânea, as reabsorções superficiais não são normalmente observadas radiograficamente devido a seu pequeno tamanho na estrutura do cimento, que se dá pela formação de pequenas lacunas na superfície radicular delineadas por uma lâmina dura normal (Finucane & Kinirons, 2003).
- ✓ Reabsorção por substituição externa é uma situação de anquilose dento-alveolar, é uma complicação clínica secundária à lesão da membrana periodontal após trauma dental severo (avulsão, intrusão), ocorre uma fusão do osso alveolar com o dente, tendo como consequência a reabsorção progressiva da raiz com substituição pelo osso (Anderson, & Malmgren, 1999).
- ✓ Reabsorção inflamatória: ocorre por complicação no tratamento endodôntico ou ainda por trauma, pode ser precedida pelo aumento no suprimento vascular na área adjacente à superfície radicular. Assim, a inflamação aumenta a permeabilidade dos capilares, permitindo a libertação de monócitos que, posteriormente, migrarão através do osso danificado levando em última análise à reabsorção óssea (Andreasen, 1981).

A complicação mais comum de um dente avulsionado após a sua reimplantação no alvéolo é a reabsorção radicular externa. Se existirem danos no tecido de suporte do

dente, mas sem qualquer infecção, a fusão anatômica do cimento dentário com o osso alveolar vai provocar uma anquilose. No caso de existir uma polpa necrótica com infecção, há uma diminuição do pH seguida de uma resposta aumentada de osteoclastos/actividade osteoclástica o que leva à reabsorção da raiz por inflamação (Aggarwal & Singla, 2010).

O objectivo no tratamento de um dente severamente luxado, com intrusão ou avulsionado é endodônticamente tratar o dente antes de este sofrer um processo inflamatório e impedir a actividade dos osteoclastos na raiz.

O Hidróxido de cálcio (HC) tem sido usado como um medicamento intracanal para ajudar a dissolver o tecido orgânico, eliminar microorganismos e impedir o processo de reabsorção. A longo prazo, a colocação HC é também recomendada para os dentes em que reabsorção externa já seja visível radiograficamente (AAE, 2004). As potenciais desvantagens a longo prazo e a curto prazo da colocação de HC são o aumento do risco de fractura bem como dificuldades de adesão ao tratamento por parte do paciente, decorrente da necessidade de vários tratamentos durante longos períodos de tempo (Andreasen et al., 2002).

O MTA parece ser bastante vantajoso quando utilizado em lesões de reabsorção externa. A deposição de cimento e a criação de um ligamento periodontal é preferível à formação de tecido fibroso que acontece com os outros materiais. O cimento pode proporcionar um selamento biológico que é semelhante ao de uma superfície radicular normal (Heward & Sedgley, 2011).

Quando o MTA se dissolve em água estéril, íões de cálcio são libertados e formam um precipitado com o gel de sílica, que solidifica em menos de quatro horas e tem uma alta resistência à compressão, um pH de 12 é imediatamente conseguido e é mantido por vários meses (Fridland & Rosado, 2005). Devido ao seu pH elevado e à sua capacidade de estimular os cementoblastos e os odontoblastos, a sua utilização deve ser considerada em casos de reabsorção radicular. No entanto, há ainda um número limitado de estudos que reportem a utilização de MTA nestes casos (Bogen & kutler, 2009).

Num estudo de Heward & Sedgley, em 2011 foram comparados os efeitos do MTA e do hidróxido de cálcio (HC) em reabsorções radiculares simuladas, durante quatro semanas. Neste estudo a hipótese nula foi rejeitada porque o MTA tinha um pH significativamente maior nas cavidades da superfície radicular, quando comparado com HC durante o período de 4 semanas. Mais estudos são necessários para determinar se

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

esta diferença é clinicamente significativa e se o MTA será a opção mais favorável no tratamento de casos de reabsorção radicular externa inflamatória.

É importante referir que um estudo recente demonstrou a regulação crescente da proteína morfogenética óssea-2 na expressão de genes em células do ligamento periodontal expostos a MTA durante 4 semanas, sugerindo um possível papel para o material no processo de cicatrização dos tecidos periodontais (Maeda et al., 2010), como já foi referido anteriormente nas propriedades biológicas do MTA.

O pH alcalino do MTA encontrado em lesões de reabsorção simuladas em conjunto com a sua capacidade de impedir a infiltração marginal já provada em diversos estudos, justificam ainda mais a sua utilização para tratamento de casos de reabsorção externa inflamatória, especialmente em casos em que a fractura radicular pode ser uma consequência do tratamento a curto e longo prazo com hidróxido de cálcio (Andreasen et al., 2002).

Park & Lee, em 2008, descreveram um caso clínico de uma jovem de 28 anos com queixas de dor aguda com início alguns meses antes. A paciente tinha sofrido um acidente de viação, oito anos antes, o que sugeria a possibilidade de existência de trauma dentário. A avaliação clínica demonstrou que o dente 4.5 tinha sintomatologia dolorosa no teste à percussão mas não respondia no teste ao frio e apresentava uma perfuração óssea por lingual. O exame radiográfico demonstrou uma zona de radiolucidez no terço coronal do canal radicular (Anexo 4 - fig.1). O canal foi irrigado com hipoclorito de sódio, colocou-se medicação intracanal e fechou-se a cavidade com óxido de zinco eugenol. Na consulta seguinte foi feita a odontometria, o MTA foi colocado na zona da reabsorção e foi feito o tratamento endodôntico convencional do canal, de seguida avaliou-se radiograficamente (Ver anexo4 - fig.2). A paciente continuou a ser acompanhada e o dente encontrava-se clinicamente e radiograficamente assintomático 27 meses depois (Ver anexo, figura 3). Este caso clínico sugere que o MTA possa ser utilizado como material de reparação para perfurações devido a reabsorção cervical da raiz; o dente encontrava-se em função 27 meses depois e clínica e radiograficamente apresentava uma condição estável sem qualquer defeito ósseo ou patologia apical.

Conclui-se então que o MTA pode ser uma opção viável e pode melhorar os resultados de sucesso nos casos de reabsorção radicular.

4. Conclusão

Considerando os trabalhos consultados e os resultados apontados nesta revisão de literatura, conclui-se que o MTA mostra excelentes resultados biológicos quando colocado directamente sobre a polpa dentária.

O mecanismo de acção do MTA mostrou ser semelhante ao já descrito para o hidróxido de cálcio. Comparando a resposta tecidual ao MTA com a que se obtém com a utilização do hidróxido de cálcio, observa-se alguma similaridade entre os dois materiais, parecendo ambos estimular a neoformação de tecido duro (cimento e dentina).

Vários trabalhos experimentais demonstraram também que tanto a composição quanto o comportamento tecidual do MTA são semelhantes ao do cimento Portland.

O MTA possui propriedades físicas, químicas e biológicas que lhe conferem biocompatibilidade, além de capacidade osteoindutora e efeito antimicrobiano e induz a proliferação de células pulpares, o que pode explicar o seu efeito regenerativo. A resposta tecidual usualmente é caracterizada por neoformação de tecido duro, depositado em contacto directo com o material, e por ausência de infiltrado inflamatório.

A introdução de técnicas de sessão única para apexificação é uma vantagem da utilização do MTA no tratamento, aumenta o conforto do paciente e a sua cooperação no mesmo.

Como qualquer outro material, este também apresenta alguns inconvenientes, como a possível alteração de cor do dente tratado, no caso do MTA cinzento, dificuldade de manuseamento e dificuldade de remoção.

O MTA é um material promissor, com uma base de pesquisa em permanente desenvolvimento.

Os resultados com modelos animais são de facto impressionantes, no entanto estes nem sempre se traduzem em resultados impressionantes em humanos. Assim, são necessários mais estudos em humanos e principalmente com períodos superiores de *follow-up*, uma vez que o sucesso de um material depende da sua avaliação a longo prazo.

Bibliografia

AAE. Guidelines for treatment of traumatic dental injuries. Chicago: American Association of Endodontists; 2004.

Abarajithan M, Velmurugan N, Kandaswamy D. Management of recently traumatized maxillary central incisors by partial pulpotomy using MTA: Case reports with two-year follow-up. *J Conserv Dent*. 2010 Apr;13(2):110-3.

Abedi HR, Torabinejad M, Pitt Ford TR, Bakland LK. The use of mineral trioxide aggregate cement (MTA) as a direct pulp capping agent. *J Endod*. 1996 Oct;127(10):1491-4.

Aeinehchi M, Eslami B, Ghanbariha M, Saffar AS. Mineral trioxide aggregate (MTA) and calcium hydroxide as pulp-capping agents in human teeth: a preliminary report. *Int Endod J*. 2003 Mar;36(3):225-31.

Agamy HA, Bakry NS, Mounir MM, Avery DR. Comparison of mineral trioxide aggregate and formocresol as pulp-capping agents in pulpotomized primary teeth. *Pediatr Dent*. 2004 Jul-Aug;26(4):302-9.

Aggarwal V, Singla M. Management of inflammatory root resorption using MTA obturation – a four year follow up. *Br Dent J*. 2010 Apr;208(7):287-9.

AlAnezi AZ, Zhu Q, Wang YH, Safavi KE, Jiang J. Effect of selected accelerants on setting time and biocompatibility of mineral trioxide aggregate (MTA). *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2011 Jan;111(1):122-7.

Andreasen JO. Relationship between surface and inflammatory resorption and changes in the pulp after replantation of permanent incisors in monkeys. *J Endod*. 1981 Jul;7(7):294-301.

Andreasen JO, Farik B, Munksgard EC. Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dent Traumatol*. 2002 Jun;18(3):134-7.

Andreasen JO, Ravn JJ. Epidemiology of traumatic dental injuries to primary and permanent teeth in a Danish population sample. *Int J Oral Surg*. 1972;1(5):235-9.

Anderson, L., Malmgren, B. The problem of dentoalveolar ankylosis and subsequent replacement resorption in the growing patient. *Endod. J*. 1999 Aug;25(2):57-61.

Arens DE, Torabinejad M. Repair of furcal perforations with mineral trioxide aggregate: two case reports. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1996 Jul;82(1):84-8.

Asgary S, Parirokh M, Eghbal MJ, Stowe S, Brink F. A qualitative X-ray analysis of white and grey mineral trioxide aggregate using compositional imaging. *J Mater Sci Mater Med*. 2006 Feb;17(2):187-91.

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

Asgary S, Shahabi S, Jafarzadeh T, Amini S, Kheirieh S. The Properties of a New Endodontic Material. *J Endod.* 2008 Aug;34(8):990-993.

Badr AE. Marginal adaptation and cytotoxicity of bone cement compared with amalgam and mineral trioxide aggregate as root-end filling materials. *J Endod.* 2008 Aug;34(8):990-3.

Bogen G, Kim J, Bakland L. Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate. An observational study. *J Am Dent Assoc.* 2008 Mar;139(3):305-15.

Bogen G, Kuttler S. Mineral trioxide aggregate obturation: a review and case series. *J Endod.* 2009 Jun;35(6):777-90.

Bortoluzzi AE, Juárez Broon N, Antonio DM, de Oliveira Demarchi AC, Monteiro Bramante C. The use of a setting accelerator and its effect on pH and calcium ion release of mineral trioxide aggregate and white Portland cement. *J Endod.* 2006 Dec;32(12):1194-7.

Bozeman TB, Lemon RR, Eleazer PD. Elemental analysis of crystal precipitate from gray and white MTA. *J Endod.* 2006 May;32(5):425-8.

Camilleri J. Characterization of hydration products of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 2008 May;41(5):408-17.

Camilleri J, Gandolfi MG, Siboni F, Prati C. Dynamic sealing ability of MTA root canal sealer. *Int Endod J.* 2011 Jan;44(1):9-20.

Camilleri J, Montesin FE, Brady K, Sweeney R, Curtis RV, Pitt Ford TR. The constitution of mineral trioxide aggregate. *Dent Mater.* 2005 Apr;21(4):297-303.

Cardoso-Silva C, Barbería E, Maroto M, García-Godoy F. Clinical study of Mineral Trioxide Aggregate in primary molars. Comparison between Grey and White MTA--a long term follow-up (84 months). *J Dent.* 2011 Feb;39(2):187-93.

Castellucci A. The use of mineral trioxide aggregate in clinical and surgical endodontics. *Dent Today.* 2003 Mar;22(3):74-81.

Cehreli ZC, Sara S, Uysal S, Turgut MD. MTA apical plugs in the treatment of traumatized immature teeth with large periapical lesions. *Dent Traumatol.* 2011 Feb;27(1):59-62.

Chhabra N, Singbal KP, Kamat S. Successful apexification with resolution of the periapical lesion using mineral trioxide aggregate and demineralized freeze-dried bone allograft. *J Conserv Dent.* 2010 Apr;13(2):106-9.

Chng HK, Islam I, Yap AU, Tong YW, Koh ET. Properties of a new root-end filling material. *J Endod.* 2005 Sep;31(9):665-8.

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

Chong BS, Pitt Ford TR, Hudson MB. A prospective clinical study of Mineral Trioxide Aggregate and IRM when used as root-end filling materials in endodontic surgery. *Int Endod J.* 2003 Aug;36(8):520-6.

Cohen S, Burns RC. *Pathways of the Pulp.* 8th Edition. St. Louis: Mosby, Inc; 2002.

Dammaschke T, Stratmann U, Wolff P, Sagheri D, Schäfer E. Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate: an immunohistologic comparison with calcium hydroxide in rodents. *J Endod.* 2010 May;36(5):814-9.

Darvell BW, Wu RC. "MTA"-An Hydraulic Silicate Cement: Review update and setting reaction. *Dent Mater.* 2011 May;27(5):407-22.

Erdem A, Sepet E. Mineral trioxide aggregate for obturation of maxillary central incisors with necrotic pulp and open ápices. *Dent Traumatol.* 2008 Oct;24(5):38-41.

Faraco IM Jr, Holland R. Response of the pulp of dogs to capping with mineral trioxide aggregate or a calcium hydroxide cement. *Dent Traumatol.* 2001 Aug;17(4):163-6.

Farsi N, Alamoudi N, Balto K, Mushayt A. Clinical assessment of mineral trioxide aggregate (mta) as direct pulp capping in young permanent teeth. *J Clin Pediatr Dent.* 2006 Winter;31(2):72-6.

Ferreira MM, Albuquerque B, Paulo S, Ginjeira A, Capelas JA. Glossário de Termos Endodônticos – Parte I. *Rev Port Estomatol Cir Maxilofac* 2007; 48(4):247-255.

Finucane D, Kinirons MJ. External inflammatory and replacement resorption of luxated, and avulsed replanted permanent incisors: a review and case presentation. 2003 June;19(3):170–174.

Fridland M, Rosado R. Mineral trioxide aggregate (MTA) solubility and porosity with different water-to-powder ratios. *J Endod.* 2003 Dec;29(12):814-7.

Fridland M, Rosado R. MTA solubility: a long term study. *J Endod.* 2005 May;31(5):376-9.

Gaitonde P, Bishop K. Apexification with mineral trioxide aggregate: an overview of the material and technique. - *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2007 Mar;15(1):41-5.

Ginjeira A, Albuquerque B, Paulo S, Ferreira MM, Capelas JA. Glossário de Termos Endodônticos – Parte III. *Rev Port Estomatol Cir Maxilofac.* 2008;49(2):119-125.

Gonzales JR, Rodekirchen H. Endodontic and periodontal treatment of an external cervical resorption. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007 Jul;104(1):70-7.

Guyen G, Cehreli ZC, Ural A, Serdar MA, Basak F. Effect of mineral trioxide aggregate cements on transforming growth factor beta1 and bone morphogenetic protein production by human fibroblasts in vitro. *J Endod.* 2007 Apr;33(4):447-50.

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

Guven EP, Yalvac ME, Sahin F, Yazici MM, Rizvanov AA, Bayirli G. Effect of Dental Materials Calcium Hydroxide-containing Cement, Mineral Trioxide Aggregate, and Enamel Matrix Derivative on Proliferation and Differentiation of Human Tooth Germ Stem Cells. *J Endod.* 2011 May;37(5):650-6.

Habibi M, Ghoddusi J, Habibi A, Mohtasham N. Healing process following application of set or fresh mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *Eur J Dent.* 2011 Jan;5(1):19-23.

Hachmeister DR, Schindler WG, Walker WA, Thomas DD. The sealing ability and retention characteristics of mineral trioxide aggregate in a model of apexification. *J Endod.* 2002 May;28(5):386-90.

Hansen SW, Marshall JG, Sedgley CM. Comparison of Intracanal EndoSequence Root Repair Material and ProRoot MTA to Induce pH Changes in Simulated Root Resorption Defects over 4 Weeks in Matched Pairs of Human Teeth. *J Endod.* 2011 Apr;37(4):502-6.

Hashem AA, Hassanien EE. ProRoot MTA, MTA-Angelus and IRM used to repair large furcation perforations: sealability study. *J Endod.* 2008 Jan;34(1):59-61.

Hawley M, Webb TD, Goodell GG. Effect of varying water-to-powder ratios on the setting expansion of white and gray mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2010 Aug;36(8):1377-9.

Heward S, Sedgley CM. Effects of intracanal mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide during four weeks on pH changes in simulated root surface resorption defects: an in vitro study using matched pairs of human teeth. *J Endod.* 2011 Jan;37(1):40-4.

Hilton TJ. Keys to clinical success with pulp capping: a review of the literature. *Oper Dent.* 2009 Sep-Oct;34(5):615-25.

Holland R, Souza V, Mérida Delgado RJ, Murata SS. Mineral trioxide aggregate (MTA): composition, mechanism of action, biological behavior and clinical employment. *Rev. Cienc. Odontol.* 2002 Dec;5(5):7-22.

Holland R, Souza V, Nery MJ, Faraco-Júnior IM, Bernabé PFE, Otoboni-Filho JA, Dezan Júnior E. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tube filled with mineral trioxide aggregate, Portland cement or calcium hydroxide. *Braz Dent J.* 2001;12(1): 3-8.

Hong ST, Bae KS, Baek SH, Kum KY, Shon WJ, Lee W. Effects of root canal irrigants on the push-out strength and hydration behavior of accelerated mineral trioxide aggregate in its early setting phase. *J Endod.* 2010 Dec;36(12):1995-9.

Ibarrola JL, Biggs SG, Beeson TJ. Repair of a Large Furcation Perforation: A Four-Year Follow-Up *J Endod* 2008 May;34(5): 617-619.

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

Islam I, Chng HK, Yap AUJ. Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and Portland cement. *J Endod.* 2006 Mar;32(3):193-7.

Jacobovitz M, Pappen FG, Lima RK. Root canal filling using MTA in association with parentodontic surgery in a retreatment of an external root resorption. *RSBO.* 2009 Sept;6(2):208-213.

Jesslén P, Zetterqvist L, Heimdahl A. Long-term results of amalgam versus glass ionomer cement as apical sealant after apicectomy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1995 Jan;79(1):101-3.

Johnson BR. Considerations in the selection of a root-end filling material. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1999 Apr;87(4):398-404.

Keiser K, Johnson C, Tipton D. Cytotoxicity of mineral trioxide aggregate using human periodontal ligament fibroblasts. *J Endod.* 2000 May;26(5):288-91.

Kettering JD, Torabinejad M. Investigation of mutagenicity of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod.* 1995 Nov;21(11):537-42.

Khatavkar RA, Hegde VS. Use of a matrix for apexification procedure with mineral trioxide aggregate. *J Conserv Dent.* 2010 Jan;13(1):54-7.

Koçak MM, Koçak S, Aktuna S, Görücü J, Yaman SD. Sealing ability of retrofilling materials following various root-end cavity preparation techniques. *Lasers Med Sci.* 2011 Jul;26(4):427-31.

Koh ET, McDonald F, Pitt Ford TR, Torabinejad M. Cellular response to mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 1998 Aug;24(8):543-7.

Koh ET, Torabinejad M, Pitt Ford TR, Brady K, McDonald F. Mineral trioxide aggregate stimulates a biological response in human osteoblasts. *J Biomed Mater Res.* 1997 Dec 5;37(3):432-9.

Lee ES. A new mineral trioxide aggregate root-end filling technique. *J Endod.* 2000 Dec;26(12):764-5.

Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod.* 1993 Nov;19(11):541-4.

Lindeboom JA, Frenken JW, Kroon FH, van den Akker HP. A comparative prospective randomized clinical study of MTA and IRM as root-end filling materials in single-rooted teeth in endodontic surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005 Oct;100(4):495-500.

Maeda H, Nakano T, Tomokiyo A, Fujii S, Wada N, Monnouchi S, Hori K, Akamine A. Mineral trioxide aggregate induces bone morphogenetic protein-2 expression and calcification in human periodontal ligament cells. *J Endod.* 2010 Apr;36(4):647-52.

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

Main C, Mirzayan N, Shabahang S, Torabinejad M. Repair of root perforations using mineral trioxide aggregate: a long-term study. *J Endod.* 2004 Feb;30(2):80-3.

Martin RL, Monticelli F, Brackett WW, Loushine RJ, Rockman RA, Ferrari M, Pashley DH, Tay FR. Sealing properties of mineral trioxide aggregate orthograde apical plugs and root fillings in an in vitro apexification model. *J Endod.* 2007 Mar;33(3):272-5.

Mente J, Hage N, Pfefferle T, Koch MJ, Geletneky B, Dreyhaupt J, Martin N, Staehle HJ. Treatment outcome of mineral trioxide aggregate: repair of root perforations. *J Endod.* 2010 Feb;36(2):208-13.

Mente J, Geletneky B, Ohle M, Koch MJ, Friedrich Ding PG, Wolff D, Dreyhaupt J, Martin N, Staehle HJ, Pfefferle T. Mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide direct pulp capping: an analysis of the clinical treatment outcome. *J Endod.* 2010 May;36(5):806-13.

Mitchell PJ, Pitt Ford TR, Torabinejad M, McDonald F. Osteoblast biocompatibility of mineral trioxide aggregate. *Biomaterials.* 1999 Jan;20(2):167-73.

Nair P, Duncan H, Pitt Ford TR, Luder H. Histological, ultrastructural and quantitative investigations on the response of healthy human pulps to experimental capping with mineral trioxide aggregate: a randomized controlled trial. *Int Endod J.* 2008 Feb;41(2):128-50.

Nakata T, Bae K, Baumgartner J. Perforation repair comparing mineral trioxide aggregate and amalgam using an anaerobic bacterial leakage model. *J Endod.* 1998 Mar;24(3):184-6.

Nicholls E. Treatment of traumatic perforations of the pulp cavity. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1962 May;15:603-12.

Pace R, Giuliani V, Pagavino G. Mineral Trioxide Aggregate as Repair Material for Furcal Perforation: Case Series. *J Endod.* 2008 Sept ;34(9):1130-1133.

Park JB, Lee JH. Use of mineral trioxide aggregate in the non-surgical repair of perforating invasive cervical resorption. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2008 Oct 1;13(10):678-80.

Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *J Endod.* 2010 Jan;36(1):16-27.

Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *J Endod.* 2010 Mar;36(3):400-13.

Peterson LJ, Ellis III E, Hupp JR, Tucker MR. *Cirurgia Oral e Maxilofacial Contemporânea.* 3rd Edition. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1998.

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

Pitt Ford TR, Andreasen JO, Dorn SO, Kariyawasam SP. Effect of super-EBA as a root end filling on healing after replantation. *J Endod.* 1995 Jan;21(1):13-5.

Pitt Ford TR, Torabinejad M, Abedi H, Bakland L, Kariyawasam S. Using mineral trioxide aggregate as a pulp capping material. *J Am Dent Assoc.* 1996 Oct;127(10):1491-4.

Pitt Ford TR, Torabinejad M, McKendry DJ, Hong CU, Kariyawasam SP. Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1995 Jun;79(6):756-63.

Porter ML, Bertó A, Primus CM, Watanabe I. Physical and Chemical Properties of New-generation Endodontic Materials. *Journal of Endodontics.* 2010 Mar;36(3):524-528.

Rafter M. Apexification: a review. *Dent Traumatol.* 2005 Feb;21(1):1-8.

Reyes-Carmona JF, Felipe MS, Felipe WT. The Biomineralization Ability of Mineral Trioxide Aggregate and Portland Cement on Dentin Enhances the Push-out Strength. *J Endod.* 2010 Feb;36(2):286-91.

Ribeiro CS, Kuteken FA, Hirata Júnior R, Scelza MF. Comparative evaluation of antimicrobial action of MTA, calcium hydroxide and Portland cement. *J Appl Oral Sci.* 2006 Oct;14(5):330-3.

Roberts HW, Toth JM, Berzins DW, Charlton DG. Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: A review of the literature. *Dent Mat.* 2008 Feb;24(2):149-164.

Saghiri MA, Lotfi M, Joupari MD, Aeinehchi M, Saghiri AM. Effects of storage temperature on surface hardness, microstructure, and phase formation of white mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2010 Aug;36(8):1414-8.

Saghiri MA, Lotfi M, Saghiri AM, Vosoughhosseini S, Fatemi A, Shiezadeh V, Ranjkesh B. Effect of pH on sealing ability of white mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endod.* 2008 Oct;34(10):1226-9.

Saghiri MA, Shokouhinejad N, Lotfi M, Aminsobhani M, Saghiri AM. Push-out bond strength of mineral trioxide aggregate in the presence of alkaline pH. *J Endod.* 2010 Nov;36(11):1856-9.

Sarkar NK, Caidedo R, Tirwik P, Moiseyeva R, Kawashima I. Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2005 Feb;31(2):97-100.

Saunders WP. A Prospective Clinical Study of Periradicular Surgery Using Mineral Trioxide Aggregate as a Root-end Filling. *J Endod.* 2008 Jun;34(6):660-5.

Scarparo RK, Haddad D, Acasigua GA, Fossati AC, Fachin EV, Grecca FS. Mineral trioxide aggregate-based sealer: analysis of tissue reactions to a new endodontic material. *J Endod.* 2010 Jul;36(7):1174-8.

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

Schmitt D, Lee J, Bogen G. Multifaceted use of ProRoot MTA root canal repair material. *Pediatr Dent*. 2001 Jul-Aug;23(4):326-30.

Schwartz RS, Mauger M, Clement DJ, Walker III WA. Mineral trioxide aggregate: A new material for endodontics. *J Am Dent Assoc*. 1999 Jul;130(3):967-75.

Shahi S, Rahimi S, Yavari HR, Mokhtari H, Roshangar L, Abasi MM, Sattari S, Abdolrahimi M. Effect of mineral trioxide aggregates and Portland cements on inflammatory cells. *J Endod*. 2010 May;36(5):899-903.

Shipper G, Grossman E, Botha AJ, Cleaton PE. Marginal adaptation of mineral trioxide aggregate (MTA) compared with amalgam as a root-end filling material: a low vacuum (LV) versus a high vacuum (HV) SEM study. *Int Endod J*. 2004 May;37(5):325-36.

Srinivasan V, Waterhouse P, Whitworth J. Mineral trioxide aggregate in paediatric dentistry. *Int J Paediatr Dent*. 2009 Jan;19(1):34-47.

Storm B, Eichmiller FC, Tordik PA, Goodell GG. Setting expansion of gray and white mineral trioxide aggregate and Portland cement. *J Endod*. 2008 Jan;34(1):80-2.

Tang Y, Li X, Yin S. Outcomes of MTA as root-end filling in endodontic surgery: a systematic review. *Quintessence Int*. 2010 Jul-Aug;41(7):557-66.

Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod*. 1999 Mar;25(3):197-205.

Torabinejad M, Higa RK, McKendry DJ, Pitt Ford TR. Dye leakage of four root end filling materials: Effects of blood contamination. *J Endod*. 1994 Apr 20(4):159-163.

Torabinejad M, Hong CU, Lee SJ, Monsef M, Pitt Ford TR. Investigation of mineral trioxide aggregate for root-end filling in dogs. *J Endod*. 1995 Dec;21(12):603-8.

Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod*. 1995 July;21(7):349-353.

Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Antibacterial effects of some root end filling materials. *J Endod*. 1995 Aug;21(8):403-6.

Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Cytotoxicity of four root end filling materials. *J Endod*. 1995 Oct;21(10):489-92.

Torabinejad M, Parirokh M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--part II: leakage and biocompatibility investigations. *J Endod*. 2010 Feb;36(2):190-202.

Torabinejad M, Pitt Ford TR. Root end filling materials: a review. *Endod Dent Traumatol*. 1996 Aug;12(4):161-78.

Agregado de Trióxido Mineral em Endodontia

Torabinejad M, Pitt F, McKendry D, Abedi H, Miller D, Kariyawasam S. Histologic assessment of mineral trioxide aggregate as a root-end filling in monkeys. *J Endod.* 1997 Apr;23(4):225-8.

Torabinejad M, Rastegar AF, Kettering JD, Pitt Ford TR. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endod.* 1995 Mar;21(3):109-12.

Torabinejad M, Smith PW, Kettering JD, Pitt Ford TR. Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod.* 1995 Jun;21(6):295-9.

Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *J Endod.* 1993 Dec;19(12):591-5.

Tsai YL, Lan WH, Jeng JH. Treatment of pulp floor and stripping perforation by mineral trioxide aggregate. *J Formos Med Assoc.* 2006 Jun;105(6):522-6.

Unal GC, Maden M, Isidan T. Repair of Furcal Iatrogenic Perforation with Mineral Trioxide Aggregate: Two Years Follow-up of Two Cases. *Eur J Dent.* 2010 Oct;4(4):475-81.

von Arx T, Hänni S, Jensen SS. Clinical results with two different methods of root-end preparation and filling in apical surgery: mineral trioxide aggregate and adhesive resin composite. *J Endod.* 2010 Jul;36(7):1122-9.

Weldon JK Jr, Pashley DH, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF. Sealing ability of mineral trioxide aggregate and super-EBA when used as furcation repair materials: a longitudinal study. *J Endod.* 2002 Jun;28(6):467-70.

Yildirim T, Gencoglu N. Use of mineral trioxide aggregate in the treatment of large periapical lesions: reports of three cases. *Eur J Dent.* 2010 Oct;4(4):468-74.

Yilmaz HG, Kalender A, Cengiz E. Use of Mineral Trioxide Aggregate in the Treatment of Invasive Cervical Resorption: A Case Report. *J Endod.* 2010 Jan;36(1):160-3.

Anexo 1

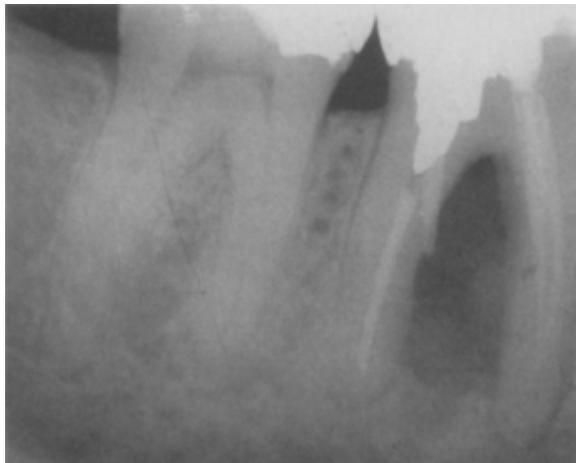


Fig.1 – Radiografia pré-operatória mostra uma perfuração e radiolucidez na zona da furca

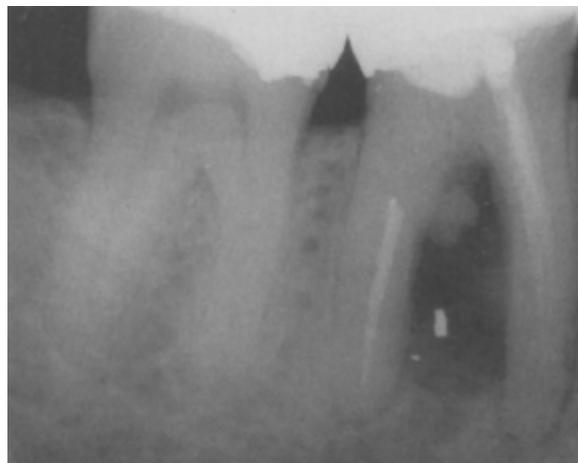


Fig.2 – Radiografia pós-operatória após a remoção do espigão e reparação da perfuração com MTA.

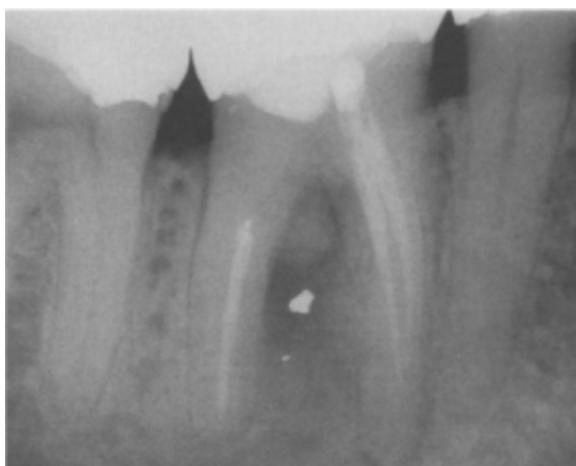


Fig.3 – Radiografia 6 meses depois mostra regeneração óssea e cicatrização da lesão interradicular.



Fig.4 – Radiografia um ano depois mostra a cicatrização completa da perfuração.

Anexo 1 - Adaptado de (Arens DE, Torabinejad M. Repair of furcal perforations with mineral trioxide aggregate: two case reports. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 1996 Jul;82(1):84-8).

Anexo 2



Fig.1 – Radiografia pré-operatória com ápex da raiz imaturo

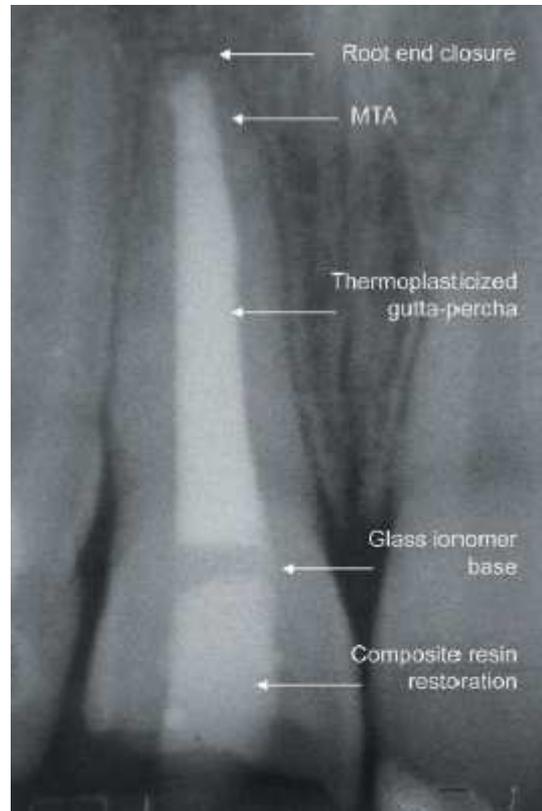


Fig.2 – Um ano após o tratamento com MTA observa-se o encerramento do ápex radicular.

Anexo 2 - Adaptado de (Gaitonde P, Bishop K. Apexification with mineral trioxide aggregate: an overview of the material and technique. - Eur J Prosthodont Restor Dent. 2007 Mar;15(1):41-5).

Anexo 3

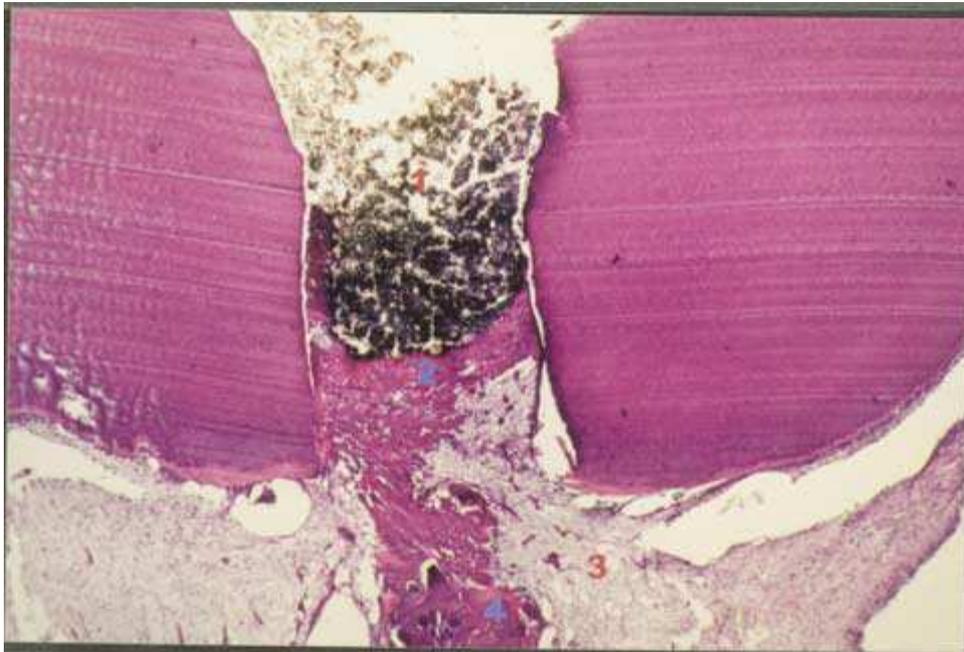


Fig.1 – Imagem da área de protecção pulpar 2 meses após a colocação do MTA. Corante H & E (1) MTA; (2) Ponte dentinária; (3) Polpa; (4) Calcificação;

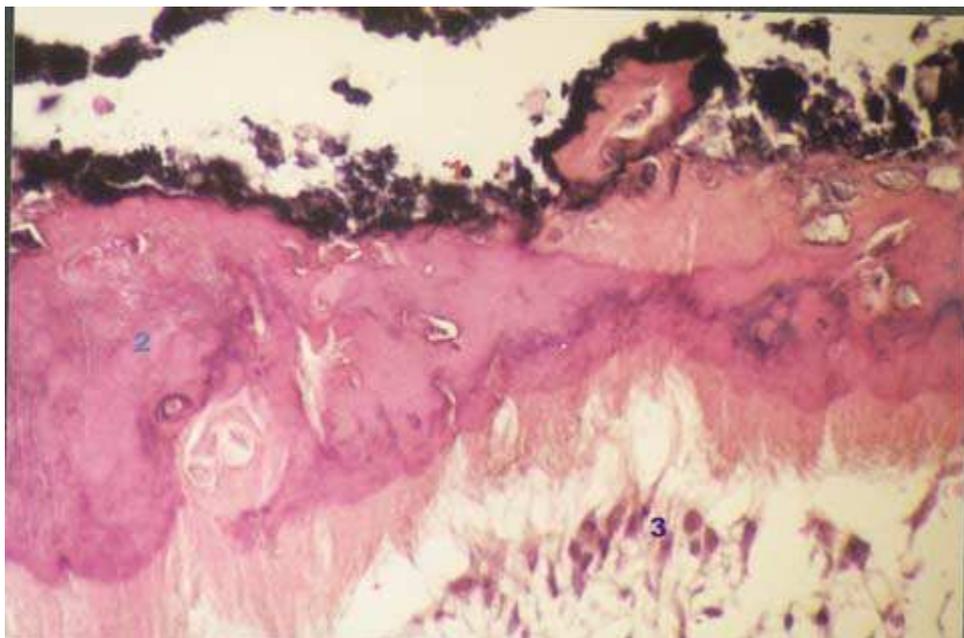


Fig.2 – Imagem da área de protecção pulpar 3 meses após a colocação do MTA. Corante H & E (1) MTA; (2) Ponte dentinária; (3) Odontoblastos

Anexo 3

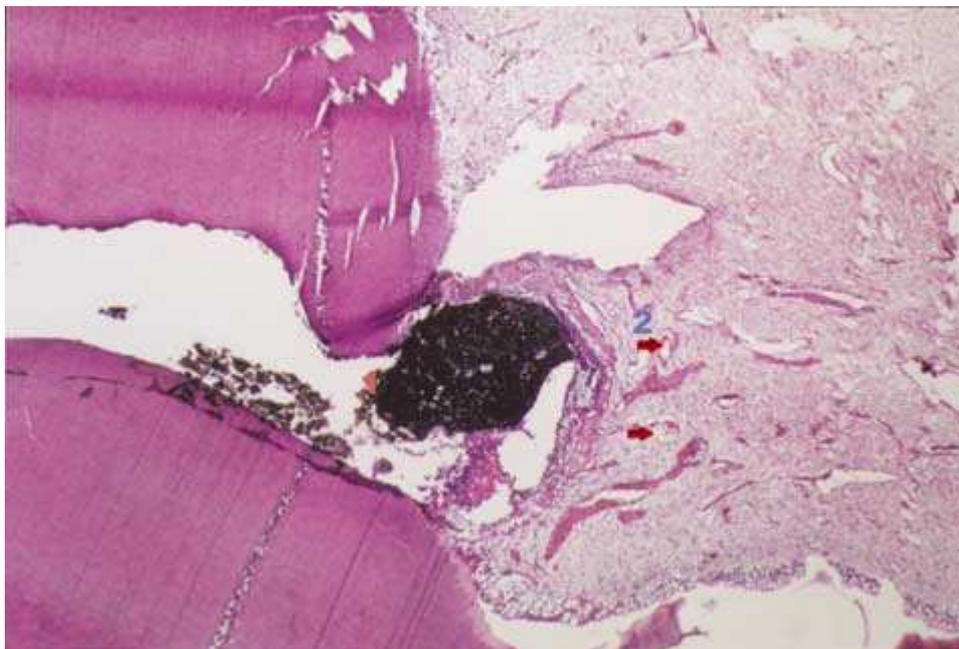


Fig.3 – Imagem da área de protecção pulpar 3 meses após a colocação do Hidróxido de Cálcio. Corante H & E. (1) Hidróxido de Cálcio; (2) Polpa, alguns vasos podem ser observados (Setas) indicam hiperémia leve.

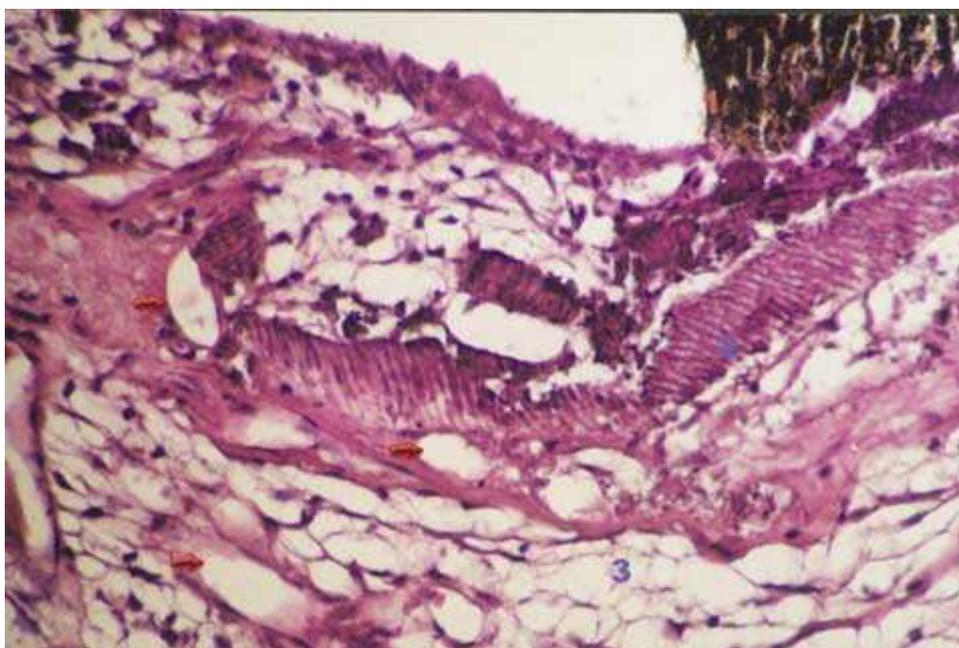


Fig.4 – Imagem da área de protecção pulpar 3 meses após a colocação do Hidróxido de Cálcio. (1) Hidróxido de cálcio; (2) dentina – estrutura semelhante; (3) polpa. Leucócitos polimorfonucleares dominam a camada superficial (em cima), enquanto que os linfócitos são mais frequentemente dispersos na parte mais profunda (abaixo). Hiperémia leve também está presente (setas).

Anexo 3

Tabela 1 – Amostras com protecções pulpares de MTA.

Intervalo de tempo	Camada Odontoblástica	Calcificação*	Hiperémia	Necrose	Inflamação			Espessura (mm)	Ponte Dentinária	Nº da amostra
					Local	Tipo	Grau			
Uma semana	-	-	1	+	Sob a área exposta	Crónica	1	-	-	1
2 meses	-	-	1	+	Sob a dentina	Crónica	1	0,12	+	2
2 meses	+	+	0	-	Sob a dentina	Crónica	1	0,28	+	3
3 meses	+	+	1	+	Sob a dentina	Crónica	1	0,25	+	4
3 meses	+	-	0	-	-	-	0	0,19	+	5
3 meses	+	-	0	-	-	-	0	0,25	+	6
4 meses	-	-	0	-	-	-	0	0,37	+	7
6 meses	+	-	0	-	-	-	0	0,43	+	8

* Para além da área da ponte dentinária.

Tabela 2 – Amostras com protecções pulpares de hidróxido de cálcio.

Intervalo de tempo	Camada Odontoblástica	Calcificação*	Hiperémia	Necrose	Inflamação			Espessura (mm)	Ponte Dentinária	Nº da amostra
					Local	Tipo	Grau			
Uma semana	-	-	1	+	Sob a área exposta	Crónica	1	-	-	1
2 meses	-	-	1	+	Sob a dentina	Crónica	1	0,12	+	2
2 meses	+	+	0	-	Sob a dentina	Crónica	1	0,28	+	3
3 meses	+	+	1	+	Sob a dentina	Crónica	1	0,25	+	4
3 meses	+	-	0	-	-	-	0	0,19	+	5
3 meses	+	-	0	-	-	-	0	0,25	+	6
4 meses	-	-	0	-	-	-	0	0,37	+	7
6 meses	+	-	0	-	-	-	0	0,43	+	8

* Para além da área da ponte dentinária

Anexo 3 – Adaptado de (Aeinehchi M, Eslami B, Ghanbariha M, Saffar AS. Mineral trioxide aggregate (MTA) and calcium hydroxide as pulp-capping agents in human teeth: a preliminary report. Int Endod J. 2003 Mar;36(3):225-31).

Anexo 4



Fig.1 – Radiografia pré-operatória do 2º pré-molar inferior direito com reabsorção radicular

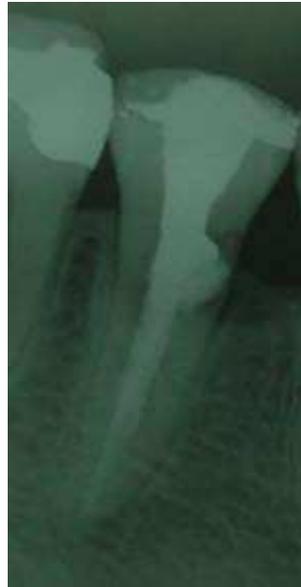


Fig.2 – Radiografia do 2º pré-molar inferior direito com MTA e gutta-percha



Fig.3 – Radiografia 27 meses após o tratamento demonstra uma condição estável

Anexo 4 – Adaptado de (Park JB, Lee JH. Use of mineral trioxide aggregate in the non-surgical repair of perforating invasive cervical resorption. Med Oral Patol Oral Cir Bucal. 2008 Oct 1;13(10):678-80).